

NACHTFLUG ÜBER FEUERLAND

Das Forschungsflugzeug HALO erforschte Schwerewellen in der Atmosphäre

Von Falk Dambowsky

Die Antarktis gehört zu den entlegensten und am wenigsten erforschten Regionen unseres Planeten. Was hier geschieht, ist auf den ersten Blick weit weg und hat doch große Auswirkungen auf das Klima der Erde und damit auf alle Menschen. Unsere Lebensweise bestimmt wiederum die Geschehnisse in der fernen Polarregion. Das Ozonloch über der Antarktis verkleinert sich mittlerweile langsam wieder. Doch es wird noch für Jahrzehnte die Atmosphärenchemie und -physik der Antarktis mitbestimmen und auch die dortigen Prozesse rund um die Erderwärmung. Nur wenige – Wissenschaftler, Ingenieure, Forschungspiloten – reisen tief hinunter in die südliche Subpolarregion, um diese Zusammenhänge und Prozesse zu messen, zu erforschen und zu verstehen. 2019 ist das ein Team aus Deutschland mit dem Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft).

HALO ist Gast in einem alten Militärhangar, der schon etwas löchrig geworden ist und seit dem lange vergangenen Falklandkrieg nur noch selten genutzt wird. Dahinter dehnt sich eine weite Landschaft aus, geprägt von endloser Steppe. Und immer wieder Schafe, die auf ausgedehnten Flächen weiden. An die andere Seite des Flugplatzes grenzt die Stadt Rio Grande. Bei Nacht sind aus der Luft ringsum nur die Lichter der 66.000-Einwohner-Stadt am Atlantik zu erkennen. Zwei Linienmaschinen aus Buenos Aires landen hier täglich, nachts um 3.30 Uhr und morgens um 8 Uhr. Sonst ist es ruhig in der Luft über Feuerland am südlichsten Zipfel Argentiniens.

Das Team der Forschungskampagne SouthTRAC (Transport, Dynamics and Composition of the Southern Hemisphere) vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre, dem Karlsruher Institut für Technologie, dem Forschungszentrum Jülich, von den Universitäten Mainz, Frankfurt, Wuppertal und Heidelberg sowie vom DLR-Forschungsflugbetrieb hat sich angrenzend an den Hangar in einem rustikalen, holzvertäfelten Büroraum eingerichtet. Hier laufen die Fäden zusammen, werden Wetterprognosen analysiert und Flüge geplant, aber auch die Kontakte zur Flugsicherung gehalten. Das Team arbeitet in Schichten, denn viele HALO-Flüge finden in der Nacht statt, während am Tag Messgeräte kalibriert und gewartet werden müssen. Während der gesamten Kampagne sind immer durchschnittlich 50 Personen vor Ort in Argentinien; insgesamt sind knapp 150 Expertinnen und Experten an der Mission SouthTRAC beteiligt.

Abflug in die Wellen

Für einen Nachtflug trifft die Crew abends am Hangar ein. 20 Uhr ist der Start geplant. Über den Bergen liegt noch die letzte Dämmerung. 13 Messgeräte, fünf Wissenschaftler, zwei Piloten und ein Bordingenieur passen zusammen in Kabine und Cockpit. So betreut ein Wissenschaftler oder eine Wissenschaftlerin gleich mehrere Geräte. Zudem wird der Flug von mehreren Teams am Boden überwacht. Heute geht es nach dem Abflug zunächst über die chilenischen Anden hinweg mehr als 100 Kilometer hinaus auf den Pazifik.

DAS FORSCHUNGSFLUGZEUG HALO

Seit mehr als zehn Jahren ist das Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) im Einsatz. Es ist eine gemeinschaftliche Initiative deutscher Umwelt- und Klimaforschungseinrichtungen. Finanziert wird der Betrieb von HALO durch ein Konsortium bestehend aus der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), dem Forschungszentrum Jülich, dem Leibniz-Institut für Troposphärenforschung und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Dabei kommt HALO direkt in Kontakt mit den zu erforschenden Schwerewellen. Diese bilden sich aufgrund des Auftriebs. „Wir merken an Änderungen der Fluggeschwindigkeit den Durchflug durch die Wellen“, erklärt DLR-Testpilot Marc Puskeiler. „Der Autopilot schwankt dann sanft zwischen höherem und geringerem Schub hin und her, um Höhe und Geschwindigkeit zu halten.“

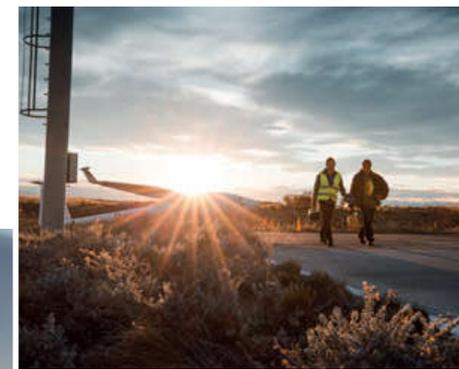
Auf dem offenen Pazifik geht HALO in einer 90-Grad-Kurve auf einen Kurs parallel zu den Anden, hinauf bis gut 100 Kilometer vor Santiago de Chile. Das Forschungsflugzeug spielt dabei seine Fähigkeiten aus und steigt bis auf eine Gipfelhöhe von rund 14 Kilometern. Während des nächtlichen Fluges sind beim Blick aus dem Cockpitfenster nur der Mond, die Sterne und der Laser zu sehen, der den Himmel über HALO bis knapp unterhalb der Grenze zum Weltraum in 100 Kilometer Höhe nach Schwerewellen abtastet.

ALIMA durchleuchtet die Atmosphäre

„Für das neue Lidar-Experiment ALIMA (Airborne Lidar for Middle Atmosphere research) an Bord hat HALO extra ein optisches Fenster

oben im Rumpf. Durch dieses strahlt der Laser in die Höhe und fängt die zurückgestreuten Signale auf“, erklärt Bernd Kaifler vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre. „Genauer gesagt erfassen wir periodische Temperatur- und Dichteschwankungen, die sich bis hinauf auf 90 Kilometer in die mittlere Atmosphäre – die Stratosphäre und Mesosphäre umfasst – ausbreiten.“ Diese Schwankungen werden dort ausgelöst, wo starke Windsysteme vom Pazifik auf hohe Gebirge wie die Anden treffen. In der Tropopausenregion – dem Übergang von Troposphäre zur Stratosphäre – untersucht das Forscherteam an Bord die chemischen und dynamischen Prozesse, die die klimarelevanten Spurengase Ozon und Wasserdampf beeinflussen.

Nach einer weiteren 90-Grad-Kurve über dem Pazifik schlägt HALO einen Kurs ein, quer über den südamerikanischen Kontinent bis 200 Kilometer vor Buenos Aires. Hier wenden die Piloten und fliegen einen ähnlichen Kurs zurück zum Ausgangspunkt. Nach rund neun Stunden und einigen Tassen Kaffee an Bord ist die Crew wieder in der Abgeschiedenheit von Río Grande.



Die Anden sind die längste Gebirgskette der Erde und stellen die weltweit stärkste Quelle für Schwerewellen dar



Start einer Radiosonde nahe des Flughafens von El Calafate. Die Starts wurden von der LMU München durchgeführt, ebenfalls Projektpartner bei SouthTRAC. Von hier aus wurden auch Schwerewellen-Messungen mit einem Segelflugzeug des Piloten Klaus Ohlmann durchgeführt.



Das Forschungsflugzeug HALO auf dem Vorfeld des Flughafens in Río Grande. Am oberen Rand des Rumpfes sind die Einlässe zu erkennen, mit denen die Luft ins Kabineninnere angesaugt und dort auf ihre Zusammensetzung hin analysiert wird.

Die wichtigsten atmosphärischen Voraussetzungen für die Bildung des Ozonlochs über der Antarktis sind tiefe Temperaturen und ein verminderter Austausch mit Luftmassen aus mittleren Breiten. Letzterer wird durch einen stabilen Luftwirbel gewährleistet, den antarktischen polaren Vortex. Dieser kann allerdings durch starke Wellenaktivität geschwächt werden. Dieser Effekt wird von Klima- und Wettermodellen bisher nur unzureichend berücksichtigt. SouthTRAC liefert nun die Datengrundlage, um bestehende Klimamodelle um dieses entscheidende Puzzlestück zu ergänzen.

Weitere HALO-Flüge der Mission führen hinaus auf den Atlantik, über die Anden und über das Südpolarmeer bis zur antarktischen Halbinsel, die das Forschungsflugzeug im Rahmen der Mission erstmals überfliegt. Mit den Flügen im September und November sammeln die Forscher einen reichhaltigen Datenschatz zu Klima und Klimawandel in der südlichen Subpolarregion. Nachdem sie insgesamt acht Wochen am südlichsten Zipfel der Welt unterwegs waren, kehren die Wissenschaftler, Ingenieure und Piloten zufrieden und mit der Gewissheit nach Deutschland zurück, anhand der gesammelten Daten dem Verständnis der zurückliegenden und zukünftigen Klimaveränderungen einen großen Schritt nähergekommen zu sein. Zu Hause läuft die umfangreiche Auswertung der Daten an, während HALO weiteren Missionen nach Barbados, Brasilien und Island entgegenblickt.

Falk Dambowsky ist Presseredakteur im DLR.

WAS SIND SCHWEREWELLEN?

Schwerewellen sind Wellen in der Atmosphäre oder im Ozean, die durch die Schwerkraft in einem stabil geschichteten Medium (also durch den Auftrieb in Luft oder Wasser) entstehen – nicht zu verwechseln mit Gravitationswellen, die Wellen in der Raumzeit beschreiben. Schwerewellen entstehen beispielsweise, wenn Luftmassen auf Berge treffen, dort durch den Druck des Windes angehoben werden und auf der Bergrückseite wieder nach unten fallen. Diese vertikale Auslenkung der Luftmassen erzeugt Wellen, die sich vertikal und horizontal in der Atmosphäre ausbreiten. Die südlichen Anden sind die weltweit stärkste einzelne Quelle von atmosphärischen Schwerewellen. Ihre gewaltigen Berge stellen für den Wind, der in dieser Region meist aus Westen kommt, ein kolossales Hindernis dar und bilden einen leistungsfähigen Generator von Schwerewellen. Bei hohen Windgeschwindigkeiten am Boden sowie in der Strato- und Mesosphäre können sich diese tief in die Atmosphäre ausbreiten, bis gut 90 Kilometer Höhe. Das geschieht an der Südspitze Südamerikas, wenn Ausläufer des Polarwirbels im Winter die Anden erreichen. Hier entsteht dann ein perfekter Wellenleiter durch die Atmosphäre nach oben. Welchen Einfluss Schwerewellen auf das Klima haben, untersucht die Mission SouthTRAC.



© DLR

Dr. Bernd Kaifler (rechts) zusammen mit Thomas Gulde, KIT, im Forschungsflugzeug HALO

Dr. Bernd Kaifler

arbeitet am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in der Abteilung Lidar und ist für alle Projekte verantwortlich, die sich mit der Lidar-basierten Erforschung der mittleren Atmosphäre beschäftigen. In den letzten sieben Jahren entwickelte er Systeme, die weitestgehend automatisiert in den entlegensten Gegenden der Welt eingesetzt wurden: von Neuseeland bis Nordskandinavien – und seit zwei Jahren in Feuerland. Letztes Jahr ließen er und sein Team das weltweit erste Ballon-Lidar für die mittlere Atmosphäre auf einem NASA-Ballon fliegen.

EIN WISSENSCHAFTLICHER WELLENRITT

Viele Flugkilometer, viele Daten und vor allem viel Kaffee. DLR-Atmosphärenphysiker Dr. Bernd Kaifler erzählt im Interview über die Mission SouthTRAC, mit der ein Wissenschaftlerteam in Argentinien unterwegs war. Er untersuchte den Einfluss von Schwerkwellen auf das Klima sowie den Luftmassenaustausch in der Atmosphäre.

Herr Kaifler, Sie haben im September 2019 mehrere Wochen an der Südspitze Südamerikas im argentinischen Rio Grande verbracht. Was hat Sie dort am meisten beeindruckt?

• Eindeutig das Wetter. In den vergangenen zwei Jahren war ich bereits zweimal in Rio Grande, um dort ein bodengebundenes Lidar-System zur Untersuchung von atmosphärischen Schwerkwellen aufzubauen und zu warten. Um diese Jahreszeit war es immer recht stürmisch. Rio Grande liegt an der Ostküste in einer weiten Ebene Feuerlands und ist dem Wind schutzlos ausgeliefert. Kap Hoorn und die Drakestraße, beide bei Seefahrern wegen ihrer Stürme gefürchtet, sind nicht weit entfernt. Da wird der tägliche Kampf gegen den Wind auf dem Weg vom Hotel zum Flugzeughangar schnell zur Gewohnheit. Nun hatten wir zwei Tage absolute Windstille, das ist vollkommen untypisch. Aber auch die weitläufigen, aufgrund des geringen Niederschlags wüstenartigen Flächen mit den schneebedeckten Bergen im Hintergrund sind ein sehr beeindruckendes Bild.

Der südliche Atlantik, der Pazifik, die Anden und die Antarktis – alles sehr weit weg von Europa. Warum fliegt man mit einem Forschungsflugzeug dorthin? Könnte man nicht auch aus dem Weltall mit Satelliten die nötigen Erkenntnisse gewinnen?

• Mit geeigneten Instrumenten an Bord von Satelliten kann man diese Schwerkwellen auch nachweisen. Die Auflösung der Messungen ist aber bei Weitem nicht ausreichend, um ihr komplettes Spektrum zu

erfassen. Zudem kommen die Satelliten auf ihren Orbits nur ein- bis zweimal pro Tag vorbei. Demgegenüber bieten Messungen mit einem Flugzeug enorme Vorteile: Wir können beispielsweise den Kurs so wählen, dass wir entlang der Ausbreitungsrichtung der Wellen über die Anden fliegen und so ein genaues Wellenspektrum aufnehmen. Außerdem können wir mit dem Flugzeug an einem Tag mehrmals über dieselbe Stelle fliegen und zeitliche Veränderungen erfassen.

Bis in 90 Kilometer Höhe Temperaturprofile zu messen, das klingt ja schon beeindruckend, wenn man bedenkt, dass HALO während der Mission „nur“ bis auf maximal 14 Kilometer Höhe geflogen ist ... Was leistet das neue laserbasierte Lidar ALIMA, was macht es besonders?

• ALIMA ist wirklich ein einzigartiges Instrument und wir sind bei der Entwicklung bis an die Grenze des technologisch Machbaren gegangen. Der Laser hat eine Leistung von 15 Watt, das Empfangsteleskop besitzt ein sehr kleines Sichtfeld, um optische Störquellen zu minimieren, wir haben extrem schmalbandige optische Filter im Empfänger, um das Tageslicht weitestgehend herauszufiltern und wir setzen Optiken mit sehr hoher Transmission und Detektoren mit hoher Quanteneffizienz ein. Diese Dinge werden in bodengebundenen Instrumenten schon seit Jahren verwendet. Neu bei ALIMA ist, dass wir das Lidar-Instrument so kompakt und stabil bauen konnten, dass es in ein Flugzeug passt und dort auch funktioniert. ALIMA lieferte bereits auf den ersten Mess-

flügen einzigartige und vor allem wissenschaftlich sehr interessante Daten: Wir konnten beispielsweise Temperaturmessungen in bis zu 90 Kilometer Höhe durchführen, trotz Turbulenzen und Vibrationen im

„ALIMA lieferte bereits auf den ersten Messflügen einzigartige und vor allem wissenschaftlich sehr interessante Daten.“

Flugzeug. Bei der nächsten Messkampagne in zwei Jahren wollen wir noch einen Schritt weitergehen und in Richtung des Laserstrahls hoch über dem Flugzeug Windprofile messen. Windmessung ist die Königsdisziplin bei Lidar-Messungen. Bei ALIMA haben wir schon alles dafür vorbereitet, wir müssen nur noch etwas an der Stabilität des Lasers arbeiten.

An Bord von HALO ist es ja recht eng bei all den Instrumenten. Mit wem arbeiten Sie bei dieser Mission an Bord zusammen? Wie fühlt es sich an, teils zehn Stunden am Stück zu fünf für deutlich mehr als fünf Messgeräte verantwortlich zu sein?

• An Bord von HALO befinden sich zwei Piloten, ein Flugtechniker und fünf Wissenschaftler, welche die 13 wissenschaftlichen Experimente betreuen. Einer der Forscher hat die wissenschaftliche Leitung an Bord und nimmt so eine Sonderrolle ein. Er steht in regem Austausch mit den Piloten und den anderen Wissenschaftlern, um beispielsweise

Flugrouten, Kurven und Höhenwechsel an die wissenschaftlichen Anforderungen im Flug anzupassen. Aber auch sonst ist viel Zusammenarbeit angesagt. Vorbereitung und Abwurf von Sonden sind immer eine Gemeinschaftsarbeit. Die Einlassventile der Spurengasmessgeräte zu bedienen, übernimmt in der Regel die Person, welche gerade in Reichweite ist, ganz gleich, für welches Experiment sie formal zuständig ist. Unterstützt wurden wir von Wissenschaftlern und Technikern am Boden, teils direkt in Rio Grande oder zu Hause in Deutschland. Mittels eines über eine Satellitenverbindung laufenden Chatprogramms können wir uns mit den Leuten am Boden austauschen und beraten. Das passiert, wenn ein Gerät Probleme bereitet, die Software abstürzt oder wir einfach etwas Interessantes in den Live-Anzeigen der Instrumente sehen und daraufhin eventuell Einstellungen der Messgeräte ändern müssen. Ganz wichtig sind auch die Personen, die vor jedem Flug über Stunden hinweg die Instrumente vorbereiten und kalibrieren und sie nach dem Flug wieder kontrolliert ausschalten und warten. Bei einem Flug von zehn Stunden schafft man das als Mitflieger nicht alles selbst. Nicht nur wegen der Überschreitung der Arbeitszeit, sondern auch physisch und emotional sind neun bis zehn Stunden Flugzeit sehr anstrengend. Die Instrumente erfordern permanente Aufmerksamkeit, was in den meisten Fällen die Kontrolle von schier endlosen Zahlenreihen, Kurven und Bedienelementen bedeutet. Heutzutage läuft dies überwiegend in elektronischer Form auf dem Bildschirm eines Laptops. Angesichts der ständigen Kontrollen muss man sich gut überlegen, wann man auf Toilette geht.

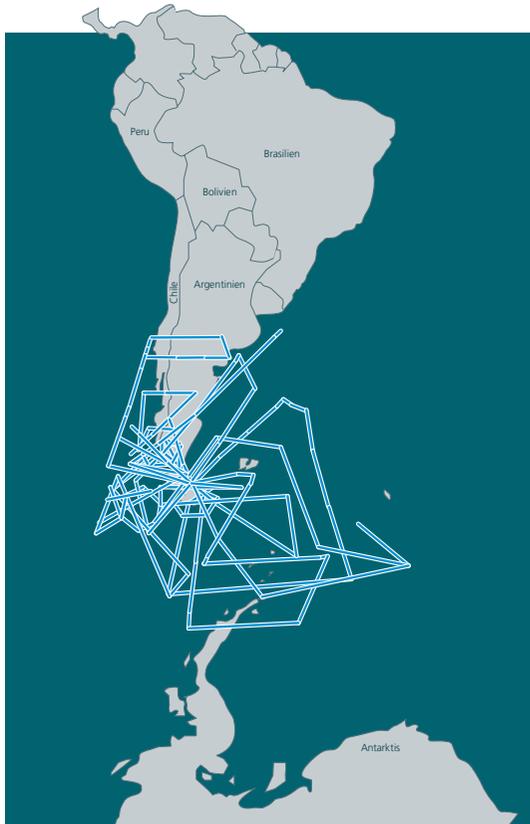


© DLR

Meteorologische Bodenstation der LMU München in El Calafate



Flugzeug- und Instrumentenwartung an einem Bodentag im Flugzeughangar in Rio Grande



Routen der Messflüge des Forschungsflugzeugs HALO während der Mission SouthTRAC im September und Oktober 2019

Zwei Stunden vor dem Start ziehen die Flugzeugtechniker HALO mit einem kleinen Traktor aus dem Hangar, in der Fachsprache nennen wir das „Aushallen“. Aus Experimentsicht ist das immer ein dramatisches Ereignis, denn Aushallen bedeutet eine Stromunterbrechung. Das ist schlecht, da geheizte Detektoren auskühlen und Vakuumpumpen stehen bleiben. Um die Unterbrechung möglichst gering zu halten, müssen in einer koordinierten Aktion alle Experimente möglichst schnell und vor allem gleichzeitig heruntergefahren werden. Nachdem HALO aus dem Hangar gebracht worden ist und die Experimente wieder eingeschaltet wurden, bleibt noch eine knappe Stunde, um sie in Flugkonfiguration zu bringen. 15 Minuten vor dem Start verlassen die letzten Nichtmitflieger das Flugzeug. Wir starten einen Bodentest des Lidars und der grüne Laserstrahl wird für zwei Minuten über dem Flugzeug sichtbar. Alle am Hangar zur Verabschiedung Versammelten zücken ihre Fotoapparate, um Bilder von HALO und dem grünen Strahl zu machen. Kaum ist der Laser aus, rollen wir auch schon los. Pünktlich um 20 Uhr hebt HALO ab, wir nehmen in der Dunkelheit Kurs auf die Anden und die Messungen beginnen.

Gut neun Stunden später, es ist nun kurz nach 5 Uhr morgens, landen wir wieder auf dem Flughafen von Río Grande. Das Bodenteam erwartet uns bereits am Hangar. Mit seiner Unterstützung werden die Experimente heruntergefahren und die Daten gesichert. Das dauert etwa 45 Minuten. Gegen 6 Uhr findet ein kurzes Debriefing statt und so kommen wir schließlich um halb sieben im Hotel an, gerade rechtzeitig zum Frühstück. Keiner trinkt Kaffee und wenig später fallen wir müde aber zufrieden ins Bett. Es liegt wieder ein erfolgreicher Messflug hinter uns und morgen ist erst einmal ein Bodentag.

Was werden wir aus den reichhaltigen Daten der HALO-Mission SouthTRAC über das sich wandelnde Klima der Erde lernen?

• Wir wissen noch recht wenig darüber, wie sich der Klimawandel auf die mittlere Atmosphäre auswirkt. Das liegt wesentlich daran, dass Schwerwellen in den Klimamodellen nicht enthalten sind und deren Effekte nur grob berücksichtigt werden. Um die Auswirkungen von Schwerwellen besser beschreiben zu können, müssen wir erst einmal verstehen, wo Wellen entstehen und wie sie sich ausbreiten. Eine ganz konkrete Frage ist beispielsweise, ob eine starke Quelle nötig ist, damit Schwerwellen bis in 90 Kilometer Höhe vordringen können, nach dem Motto „viel hilft viel“. Oder werden diese Wellen vielleicht auf dem Weg instabil, brechen und erreichen gerade wegen ihrer anfänglich großen Amplitude eben keine großen Höhen? Dann würden eher die schwachen Wellen bei guten Ausbreitungsbedingungen große Höhen erreichen. Um diese und andere Fragen beant-

worten zu können, müssen wir zunächst Daten sammeln. Mit diesen können wir Wellenpakete in der Atmosphäre verfolgen. Das ist eines der Ziele von SouthTRAC. Es handelt sich also erst einmal um Prozessstudien. Mittelfristig hoffen wir, mit unseren Ergebnissen zu einer realistischen Modellierung von Schwerwellen in Klimamodellen beitragen zu können.

Wohin würden Sie für die Forschung gern als Nächstes fliegen und warum?

• Ich würde gerne genau hier nach Río Grande zurückkehren und Flüge im Südwinter, sagen wir im Juli, wiederholen. Kurz vor unserer Ankunft in Río Grande passierte eine sogenannte Stratosphärenenerwärmung, die in Teilen zum Zusammenbruch des Polarwirbels führte und damit die Ausbreitungsbedingungen für Schwerwellen massiv beeinflusste. In der Südhemisphäre ist das ein extrem seltenes Ereignis, die letzte Erwärmung passierte 2002. Einerseits haben wir mit unserer Kampagne nun das Glück, die Auswirkungen einer Stratosphärenenerwärmung untersuchen zu können. Andererseits könnte man es auch Pech nennen, denn eine ungestörte Ausbreitung der Schwerwellen ist nunmehr in dieser Saison nicht mehr möglich. Darum würde ich gerne die Messungen wiederholen. Südamerika bleibt der perfekte Ort dafür.

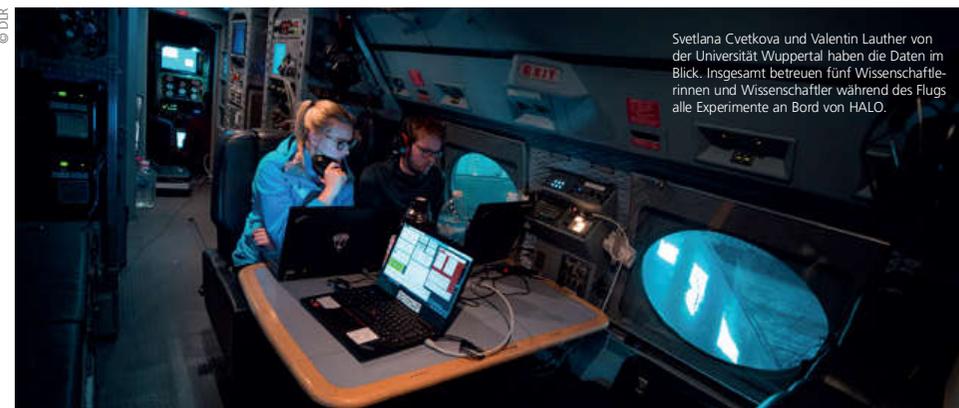
Die Fragen stellte Falk Dambowsky.

DAS INSTRUMENT ALIMA

Das flugzeuggetragene Instrument zur Fernerkundung der mittleren Atmosphäre misst hochauflösende Profile von Luftdichte und Temperatur oberhalb des Flugzeugs bis in 90 Kilometer Höhe. Es liefert Daten in einem Bereich, den sonst nur Höhenforschungsraketen erreichen. ALIMA (Airborne Lidar for Middle Atmosphere research) wurde in den vergangenen sechs Jahren am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre entwickelt und gebaut und kam nun erstmals im Rahmen der SouthTRAC-Kampagne zum Einsatz. Das Messprinzip beruht auf der Lidar-Technik. Von einem leistungsstarken Laser erzeugte, fünf Nanosekunden andauernde Lichtblitze werden durch ein Fenster im Flugzeugrumpf nach oben gesendet. Auf dem Weg durch die Atmosphäre wird ein Teil des Laserlichts durch Luftmoleküle zurück zum Flugzeug gestreut, wo es mittels eines Teleskops aufgefangen und Detektoren zugeführt wird. Die Zeitspanne zwischen dem Aussenden eines Lichtblitzes und dem Nachweis des empfangenen Streulichts bestimmt die Höhe, in der die Streuung stattgefunden hat. Aus der Stärke des Empfangssignals lässt sich die Luftdichte in dieser Höhe ermitteln.



Vor dem Start wird das ALIMA-System ein letztes Mal getestet und der grüne Laserstrahl, der durch ein Fenster im Flugzeugrumpf nach oben gesendet wird, ist kurz sichtbar



Svetlana Cvetkova und Valentin Lauther von der Universität Wuppertal haben die Daten im Blick. Insgesamt betreuen fünf Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler während des Flugs alle Experimente an Bord von HALO.